

AD-A063 573

DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT VALCARTIER (QUEBEC)

F/G 20/5

DESCRIPTION D'UNE INSTALLATION LASER CO2 TEA HAUTE CADENCE, (U)

NOV 78 J MORENCY

UNCLASSIFIED

DREV-R-4113/78

NL

1 OF 1
ADA
063573

SEE
REF



END
DATE
FILMED

3 79
DDC

AD A063573

NTIS REPRODUCTION
BY PERMISSION OF
INFORMATION CANADA

NON CLASSIFIÉ

CRDV RAPPORT 4113/78
DOSSIER: 3633B-006
NOVEMBRE 1978

DREV REPORT 4113/78
FILE: 3633B-006
NOVEMBER 1978

LEVEL

5c

DESCRIPTION D'UNE INSTALLATION LASER CO₂ TEA HAUTE CADENCE

J.-P. Morency

DDC FILE COPY

This document has been approved
for public release and sale; its
distribution is unlimited.

DDC
JAN 19 1979
C

Centre de Recherches pour la Défense
Defence Research Establishment
Valcartier, Québec

BUREAU - RECHERCHE ET DEVELOPEMENT
MINISTRE DE LA DEFENSE NATIONALE
CANADA

RESEARCH AND DEVELOPMENT BRANCH
DEPARTMENT OF NATIONAL DEFENCE
CANADA

UNCLASSIFIED

79 01 16 118

CRDV R-4113/78
DOSSIER: 3633B-006

NON CLASSIFIE

14 DREV-R-4113/78
FILE: 3633B-006

11 Nov 78

12 33 p.

6 DESCRIPTION D'UNE INSTALLATION LASER CO₂ TEA HAUTE CADENCE

par

10 J.-P. Morency

CENTRE DE RECHERCHES POUR LA DEFENSE

DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT

VALCARTIER

Tél: (418) 844-4271

Québec, Canada

November/novembre 1978

UNCLASSIFIED

404 945

elt

i

[illegible]

RESUME

ABSTRACT

This document describes a high-repetition-rate TEA-CO₂ laser system which operates in a closed loop and can produce an average output beam power in excess of 1.5 kW at 1 kHz. After a brief outline of the design concepts of this important installation, details are given of the various subsystems involved in the electrical excitation, circulation of gases and control of the optical cavity. Then follow operational characteristics and a description of the behavior of the multimodal beam of radiation. Despite some limitations due to deterioration of gases and thermally induced distortion of the output coupling window, this laser remains reliable and capable of operating continuously for relatively long periods of time. It is also a versatile tool, incorporating several features which make it safe to use. (U)

79 01 16 113

TABLE DES MATIERES

RESUME/ABSTRACT	i
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 DESCRIPTION GENERALE	2
3.0 DESCRIPTION DES COMPOSANTES	2
3.1 Les modules électriques haute tension	2
3.2 Les unités mécaniques d'appoint.	5
3.3 L'instrumentation et les dispositifs de commande	9
3.4 Le laser	13
4.0 CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT	18
4.1 Forme temporelle de l'impulsion laser	20
4.2 Distribution spatiale de l'énergie	20
4.3 Puissance moyenne en fonction de la cadence	22
4.4 Efficacité	22
5.0 LIMITATIONS ET DISCUSSIONS	25
6.0 REMERCIEMENTS	27
7.0 REFERENCES	27

TABLEAUX I à III

FIGURES 1 à 15

1.0 INTRODUCTION

L'utilisation quotidienne des lasers envahit de plus en plus les différentes sphères de l'activité humaine. Bien que la majorité des applications ne requièrent que de faibles puissances (quelques dizaines de watts ou moins), un effort important est consacré à l'investigation des applications militaires et civiles des lasers haute puissance. Dans cette optique, on a construit au CRDV un complexe laser intégré. Celui-ci comprend plusieurs unités lasers, leurs composantes auxiliaires et un appareillage de diagnostic relativement sophistiqué.

Ce rapport décrit le laser CO₂ TEA haute cadence qui fonctionne en boucle fermée et produit un faisceau de radiation dont la puissance moyenne peut dépasser 1.5 kW à 1 kHz. Il s'agit d'un système laser conçu, construit et installé dans ce complexe entre 1969 et 1972, plus fiable et plus sécuritaire grâce à plusieurs ajustements, additions et modifications.

Ensuite, on rappelle brièvement les principes conceptuels de cette installation, puis on décrit les différents composants servant à l'excitation électrique, à la circulation des gaz et au contrôle de la cavité optique. Suivent les caractéristiques de fonctionnement et une description du comportement du faisceau multimode de radiation. Malgré certaines limitations dues à la détérioration des gaz et aux déformations thermiques subies par la fenêtre de sortie, ce laser demeure fiable et capable de fonctionner sans arrêt pendant des périodes de temps relativement longues. C'est aussi un outil souple, muni de dispositifs qui le rendent sécuritaire à l'usage.

Cet ouvrage s'inscrit dans le cadre du NCP 33B06 (auparavant NCP 21T04) "Effets des faisceaux lasers sur les matériaux".

2.0 DESCRIPTION GENERALE

Le principe de fonctionnement du laser CO₂ TEA a fait l'objet de nombreuses publications (réf. 1, 2, 3) et nous n'insisterons pas sur les mécanismes en jeu. Qu'il nous soit simplement permis de rappeler que nous avons essentiellement besoin d'un milieu à effet laser, en l'occurrence un mélange gazeux (He-N₂-CO₂), d'un bloc d'alimentation électrique et des condensateurs dont la décharge crée un déséquilibre temporaire dans les gaz, d'une cavité optique assurant le va-et-vient et la mise au pas des photons émis ainsi que d'un ensemble de systèmes auxiliaires pour la circulation et le refroidissement des gaz.

La figure 1 montre les principaux éléments constitutifs de notre système laser intégré ainsi que leur disposition dans le complexe. On remarquera que le premier étage est réservé aux systèmes d'appoint tandis que le rez-de-chaussée regroupe le laser proprement dit, le centre de contrôle et la salle d'interaction où sont effectuées les études du faisceau laser et de ses effets sur les matériaux. Les principales composantes seront décrites plus en détail dans les sections suivantes; mais auparavant, il faut mentionner qu'on a accordé une attention très spéciale à la sécurité partout dans le complexe. En effet, aucun effort n'a été ménagé afin de protéger au maximum le personnel et l'instrumentation contre les risques inhérents à l'utilisation de la haute tension et à la manipulation de faisceaux lasers puissants.

3.0 DESCRIPTION DES COMPOSANTES PRINCIPALES

3.1 Les modules électriques haute tension

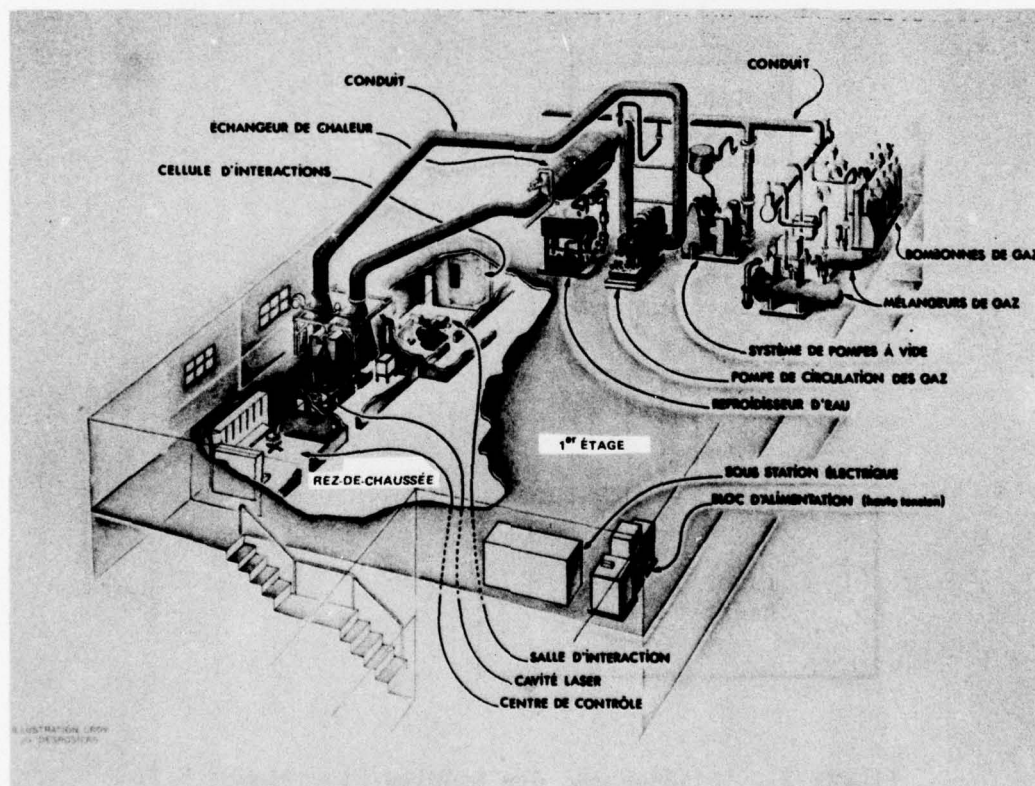
La figure 2 illustre un schéma des principaux modules électriques haute tension utilisés pendant le fonctionnement du laser CO₂ TEA. Une sous-station de 750 kVA alimente en 550 V un bloc haute tension à courant continu dont les principales caractéristiques apparaissent au Tableau I. Ce bloc alimente les 5 modules de puissance rattachés aux sections de la cavité laser.

TABLEAU I

Caractéristiques principales du bloc d'alimentation H.T.C.C.

Utilisation	Plage de tension	Plage de courant
En série	0-35 kV	0-4 A
En parallèle	0-17.5 kV	0-8 A

Puissance opérationnelle maximale: 150 kW

FIGURE 1 - Complexe Laser CO₂ haute cadence

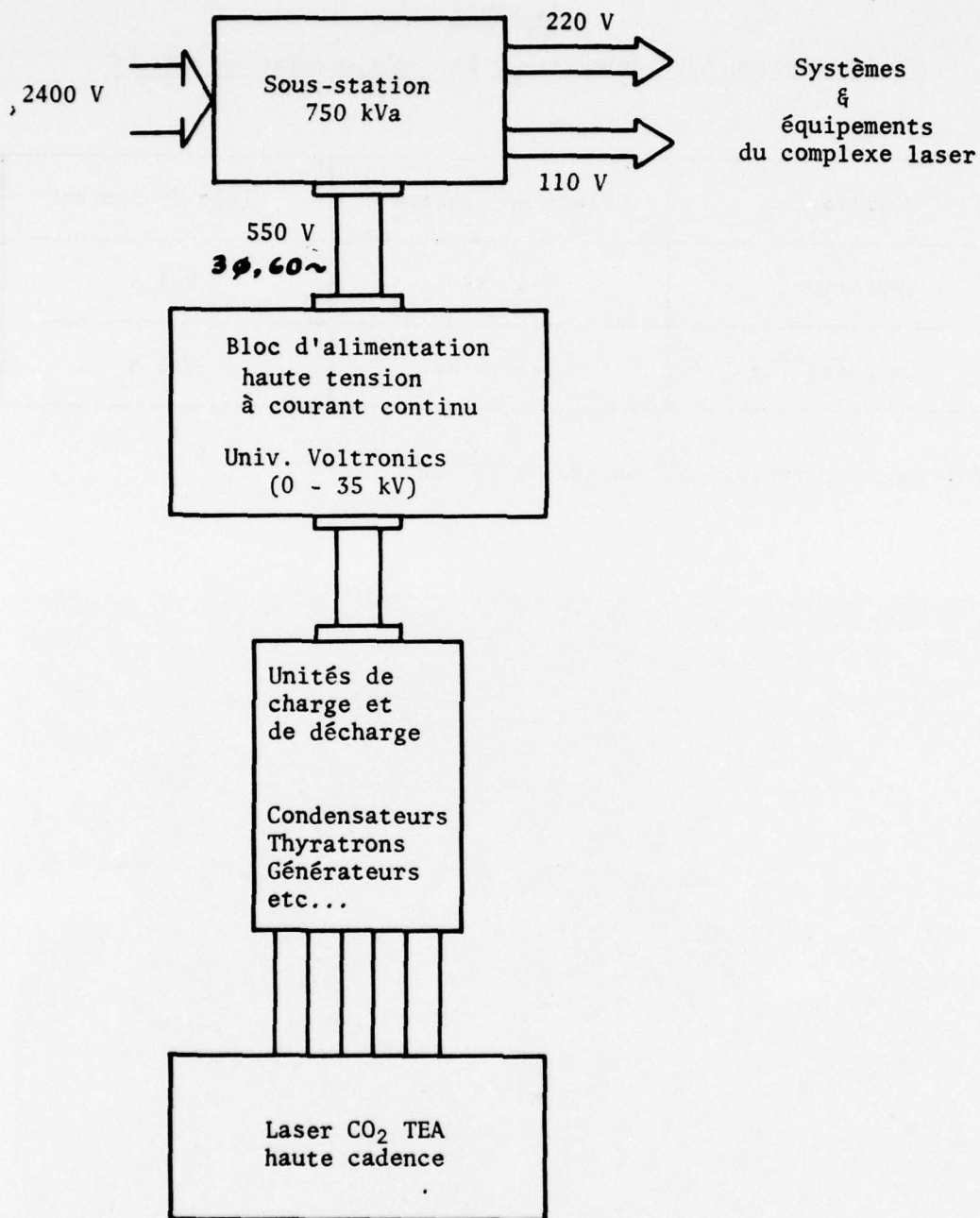


FIGURE 2 - Schéma-bloc des modules électriques H.T.

La figure 3 montre le schéma de câblage des modules de puissance et donne les caractéristiques des composantes essentielles (réf. 4). La figure 4 illustre l'ensemble des modules intégrés dans leur cabinet ainsi que le dispositif de support de ce dernier.

3.2 Les modules mécaniques d'appoint

Tous ces modules sont situés au premier étage du complexe laser, tel qu'illustré à la figure 1. Ceux-ci comprennent une unité de réfrigération, un échangeur calorifique, une pompe pour la circulation des gaz, un système de pompes à vide, deux mélangeurs de gaz, des bombonnes d'alimentation en gaz et finalement des conduits qui relient entre eux tous ces modules. La capacité volumique du système laser est d'environ 11 m³.

L'unité de réfrigération sert à refroidir l'eau qui circule à l'intérieur de l'échangeur de chaleur. Elle se compose d'un refroidisseur au fréon (F-22) à deux unités hermétiques, d'un condenseur à circulation d'air et d'une pompe à eau froide. Le refroidisseur (York, modèle LCHH-50A) comprend deux circuits de réfrigérant pouvant fonctionner séparément ou ensemble au besoin. Ses principales caractéristiques sont:

- a) une capacité de réfrigération de 155 kW pour un écart de 6°C de l'eau refroidie et une température de condensation de 40°C;
- b) une consommation maximale d'électricité de 47 kW;
- c) un débit d'eau de 400 l/min.

Le condenseur à l'air (York, modèle RA-50) est également muni de deux circuits réfrigérants. Sa fiche technique est:

- a) une capacité de rejet de chaleur de 185 kW pour un écart de 14°C entre le condenseur et l'air ambiant;

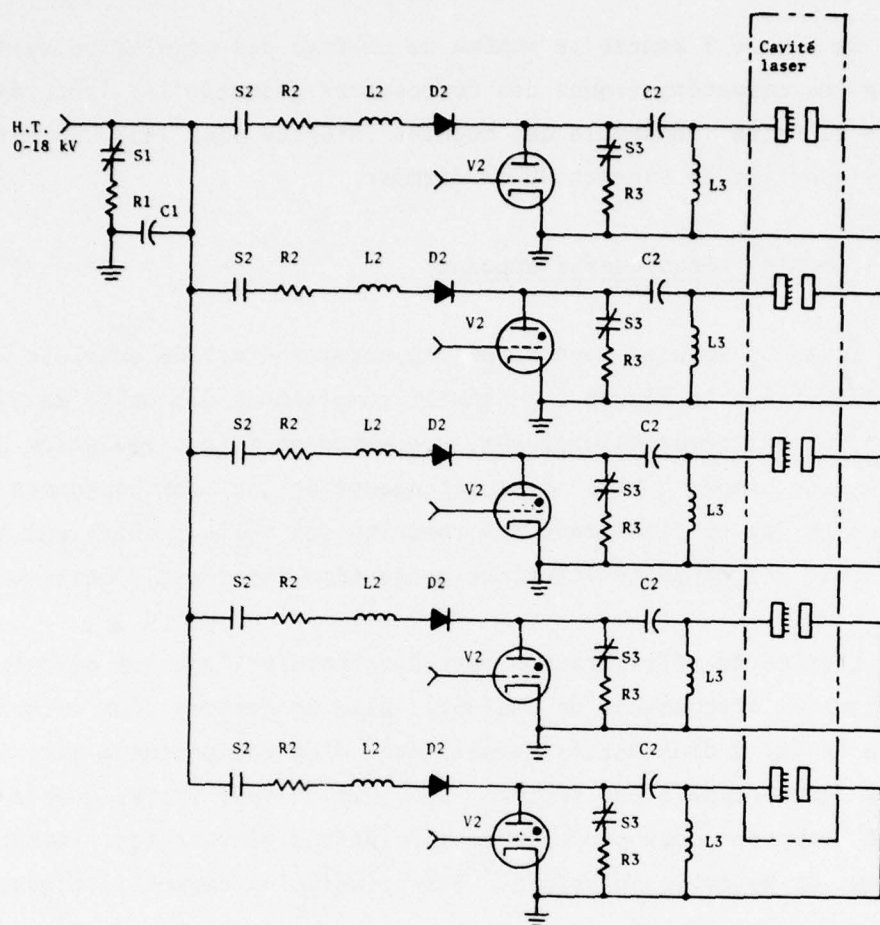


FIGURE 3 - Schéma de câblage des modules de puissance H.T.

COMPOSANTES

- C1 - Condensateur filtre, 10 μ F 18 kV
- C2 - Condensateur de stockage, 0.02 μ F 40 kV
- D2 - Diode de charge, 7.5 kV 3.3 A (7 en série)
- L2 - Bobine de charge H.T.
- L3 - Bobine d'induction, 200 tours No 20 sur dia. 2.5 cm
- R1 - Résistance pour mise à la terre, 330 k Ω 60 W
- R2 - Résistance limitant le courant, 75 Ω 180 W
- R3 - Résistance pour mise à la terre, 40 k Ω 60 W
- S1, S3 - Contacteur H.T. sous vide, 40 kV 100 A N.F.
- S2 - Contacteur H.T. sous vide, 40 kV 100 A N.C.
- V2 - Thyatron à hydrogène, 40 kV 5000 A

NON CLASSIFIE

7

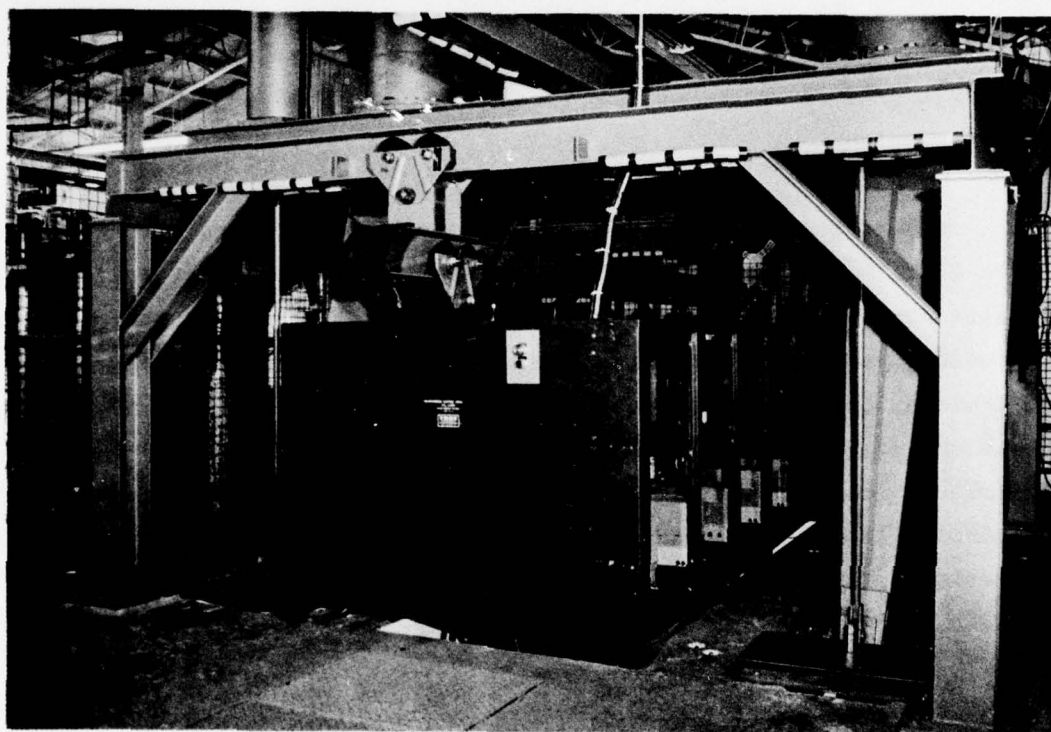


FIGURE 4 - Cabinet et support des modules de puissance H.T.

- b) une consommation d'électricité maximale de 3 kW;
- c) un contrôle pour l'hiver lui permettant de fonctionner à des températures de -30°C .

Enfin, la pompe à eau froide (Darling, 7.5 cm x 7.5 cm Unicirc) a une capacité de 420 l/min à une pression de 150 kPa. Elle atteint 1640 t/min grâce à un accouplement à courroie en V sur un moteur de 2.25 kW.

L'échangeur calorifique a été construit suivant nos spécifications par la firme Aerofin. Il s'agit essentiellement d'un serpentín à six passages dont l'aire superficielle de refroidissement est d'environ 1 m². Il possède une capacité calorifique de 150 kW pour un débit d'eau de 385 l/min et une différence de température initiale de 42°C . Dans les conditions de fonctionnement optimales de notre complexe laser, la température minimale des gaz, à la sortie de l'échangeur, se situe aux environs de 10°C . En outre, un mécanisme de contrôle permet, à l'aide d'un asservissement, de maintenir la température des gaz constante à l'entrée de la cavité pendant toute la durée des essais.

Une pompe rotative à déplacement positif (ROOTS, modèle 1431RGS) et une unité intégrant un moteur électrique ainsi qu'un coupleur électromagnétique (DYNAMATIC, modèle ACM-364T-912) assurent la circulation des gaz. Cette dernière composante, fonctionnant selon le principe des courants de Foucault, nous permet d'utiliser un moteur électrique à vitesse constante tout en satisfaisant nos conditions de fonctionnement, soit des débits de gaz variables de la part de la pompe rotative. Les difficultés techniques associées à l'utilisation d'un moteur à vitesse variable sont de ce fait contournées. Les principales caractéristiques de cet ensemble sont:

- a) une consommation d'électricité maximum de 25 kW,

- b) un débit de gaz couvrant la plage 0-3,000 ℓ/s ,
- c) une perte de pression statique maximum permise de 4 kPa.

Des conduits en acier de 40.64 cm de diamètre (16" Sch. 10 pipe), recouverts d'une peinture spéciale résistant à la chaleur, et un filtre complètent le système de circulation des gaz.

L'unité d'évacuation est constituée de deux pompes mécaniques rotatives à ailettes fonctionnant en série (STOKES, modèle 1722). Ses principales caractéristiques sont:

- a) une consommation d'électricité maximum de 16.5 kW,
- b) un débit de 118 ℓ/s dans la plage de pression 120-5 kPa,
- c) un débit de 580 ℓ/s dans la plage de pression 3 kPa-15 Pa.

La pression minimum pouvant être atteinte et maintenue dans l'enceinte est de l'ordre de 10 Pa.

Deux réservoirs haute pression, de 0.5 m³ de volume chacun, servent de mélangeurs de gaz. On peut y emmagasiner le mélange de gaz (He-CO₂-N₂) à une pression de 7 MPa. Chacun permet ainsi trois remplissages à la pression atmosphérique. On peut aussi effectuer le mélange directement dans les conduits de circulation des gaz à partir des bombonnes reçues des fournisseurs.

3.3 L'instrumentation et les dispositifs de commande

Le complexe laser comprend une instrumentation et des dispositifs de commande complexes et très perfectionnés. Ces derniers incluent des protectorelais qui fonctionnent en modes séquentiels dont le logiciel assure un maximum de sécurité pendant le fonctionnement du laser haute cadence. De plus, la centralisation dans une salle de contrôle de tous ces dispositifs offre de nombreux avantages:

- a) une facilité d'utilisation,
- b) une surveillance continue du déroulement des opérations,
- c) une identification rapide des systèmes défectueux en cas de fonctionnement anormal,
- d) une réduction du personnel, et
- e) une réduction des risques d'accident.

La figure 5 donne un schéma du processus habituel de mise en fonctionnement du laser CO₂ TEA haute cadence. Notons que toutes les étapes énumérées dans la section encadrée en traits pointillés doivent obligatoirement avoir été franchies avant que l'on puisse actionner le bloc d'alimentation haute tension.

La figure 6 illustre les modules de contrôle servant à sélectionner les gaz et à remplir les réservoirs (module K), à mettre en marche le système d'évacuation et l'unité de réfrigération (module L) et à actionner les valves de remplissage du système ainsi que les pompes de circulation et de refroidissement des résistances de la cavité (module M).

La figure 7 illustre les modules de contrôle de la haute tension, de la cadence et de l'optique de la cavité. La section centrale de la figure fait voir le panneau haute tension, un module commercial classique (type Labtrol de Universal Voltronics) auquel on a apporté quelques modifications mineures à l'installation. En plus des boutons de commande, on y trouve des indicateurs de tension et de courant. La section de droite de la figure comprend, dans la partie supérieure, des compteurs d'impulsions (un pour chacune des sections de la cavité et deux pour l'optique) et dans la partie médiane, le sélecteur de cadence ainsi que les interrupteurs nous permettant de faire fonctionner individuellement chacune des sections de la cavité laser. S'y trouvent également le bouton de mise en marche du système de décharges ainsi qu'un bouton d'arrêt d'urgence (DUMP). La partie inférieure est réservée au contrôle

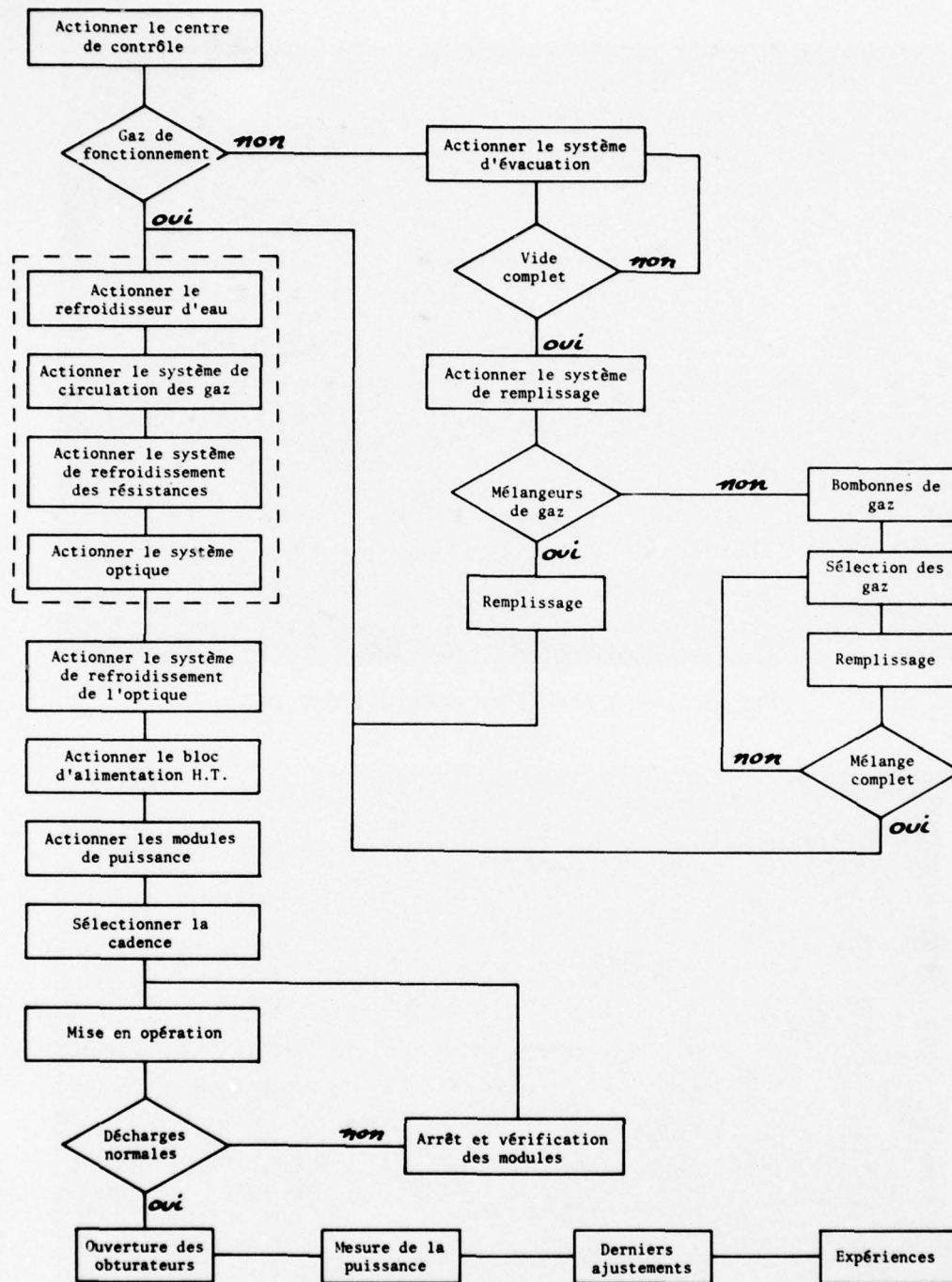


FIGURE 5 - Schéma synoptique de la séquence normale de mise en opération du laser CO₂ TEA haute cadence

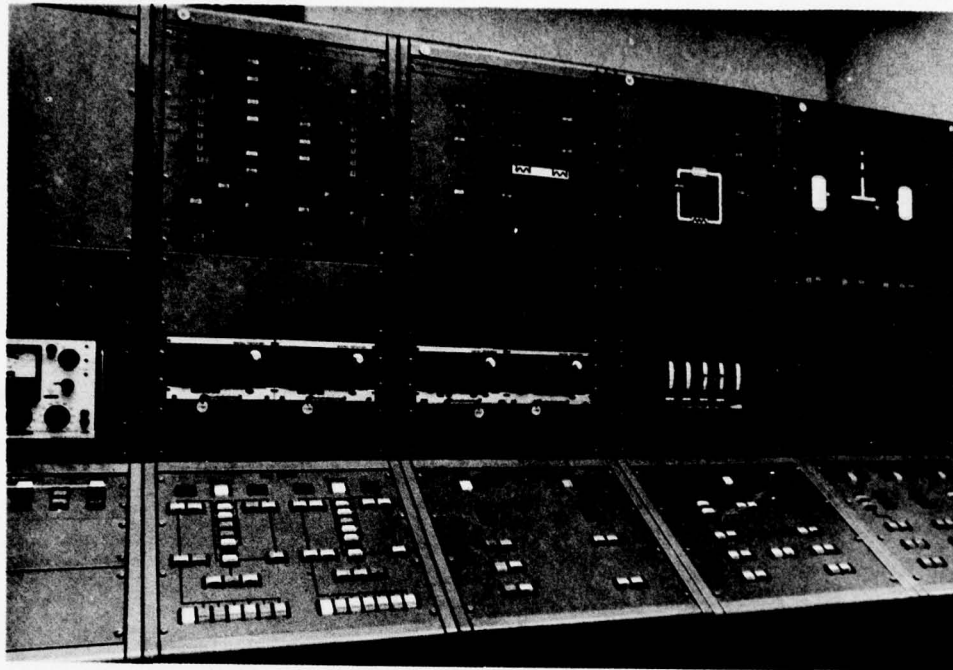


FIGURE 6 - Modules de contrôle des gaz

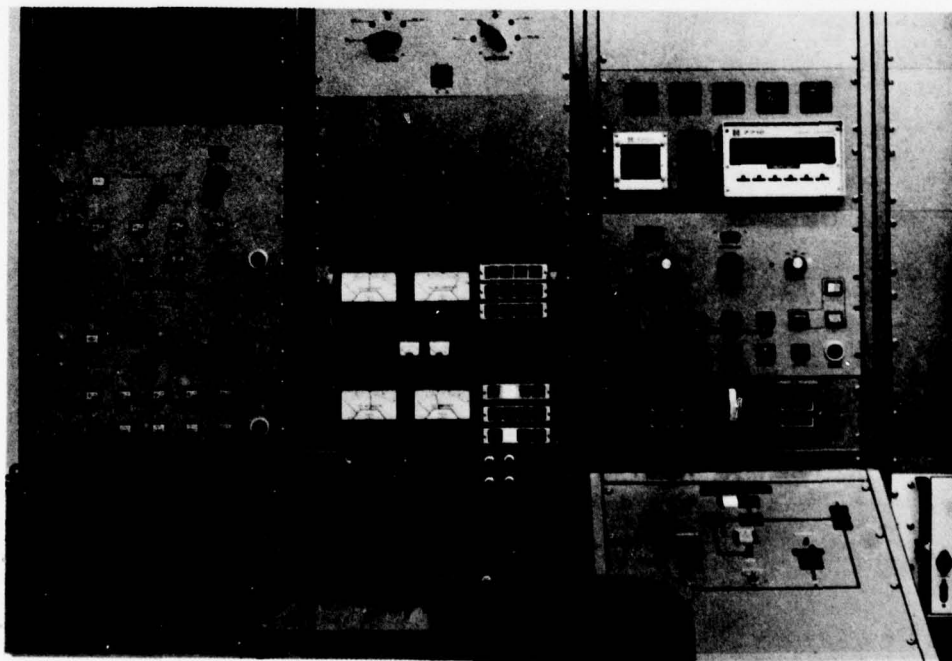


FIGURE 7 - Modules de contrôle de la H.T., de la cadence et de l'optique

de l'obturateur et aux commandes du système d'alignement de l'optique. Des indicateurs à diodes électroluminescentes nous révèlent la position des composantes optiques.

Un laser He-Ne, servant à l'alignement de la cavité laser et des composantes externes utilisées lors d'études d'interactions, des appareils de diagnostic et un module local de contrôle du laser installés dans la salle d'interaction complètent l'instrumentation.

3.4 Le laser

Ce module constitue le coeur du complexe car il produit le rayonnement laser. La figure 8 montre l'arrangement de la cavité laser et des systèmes connexes qui s'y rattachent. Le boîtier se compose d'une structure mécaniquement rigide et continue, mais électriquement découplée en 5 sections identiques. Les systèmes opto-mécaniques, incluant les mécanismes positionneurs, sont situés aux extrémités. Des refroidisseurs, des miroirs, des résistances de décharge ainsi que des conduits d'amenée et de retour du mélange gazeux complètent l'installation. L'orthogonalité des trois axes opérationnels (optique, écoulement et décharge électrique) constitue une des propriétés inhérentes à ce système. Le tableau II ci-après résume les principales caractéristiques de cette cavité laser.


Une enceinte rectangulaire en résine époxy laminée de verre relie les divers constituants de la structure mécanique de cette cavité. L'ensemble est supporté par des câbles rattachés au premier étage de l'édifice. La figure 9 montre l'agencement des différentes composantes à l'intérieur d'une section typique. On remarque, dans la partie inférieure, l'arrivée de 4 câbles coaxiaux haute tension venant du condensateur qui fournit l'énergie électrique nécessaire à la décharge. L'extrémité masse du câble se rattache à la plaque métallique en forme de . Celle-ci est reliée à l'anode par une série d'attaches métalliques assurant la continuité électrique. Cette anode fixe est refroidie en surface par la circulation du mélange gazeux.

TABLEAU IICaractéristiques de la cavité laser

Distance miroir-fenêtre:	3.68 m
Longueur totale du milieu actif:	1.95 m
Largeur du milieu actif (à la cathode):	3.25 cm
Distance entre les électrodes (3 possibilités):	2.5, 3.2 et 3.8 cm
Cathode:	1220 pointes de résistance réparties sur 5 sections dont les dimensions sont: 46 x 6.50 x 3.10 cm
Anode:	5 plaques en Al aux extrémités arrondies et mesurant 46 x 6.35 x 1.27 cm
Cavité stable quasi semi-confocale:	$R_1 = \infty$, $R_2 = 8$ m
Les composantes optiques:	
. supports à la Cardan:	Elévation sur azimuth
. déplacement angulaire en élévation:	± 24 mrad
. déplacement angulaire en azimuth:	± 24 mrad
. précision angulaire:	± 0.20 mrad
. reproductibilité angulaire:	± 0.20 mrad
. entraînement:	Moteurs pas à pas de 500 pas/ré- volution.

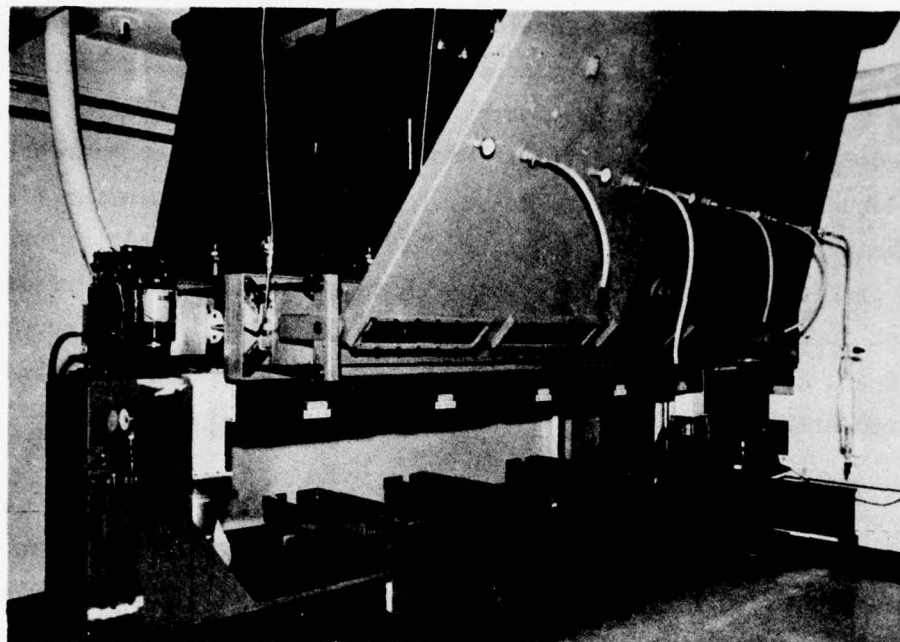


FIGURE 8 - Cavité optique et systèmes connexes

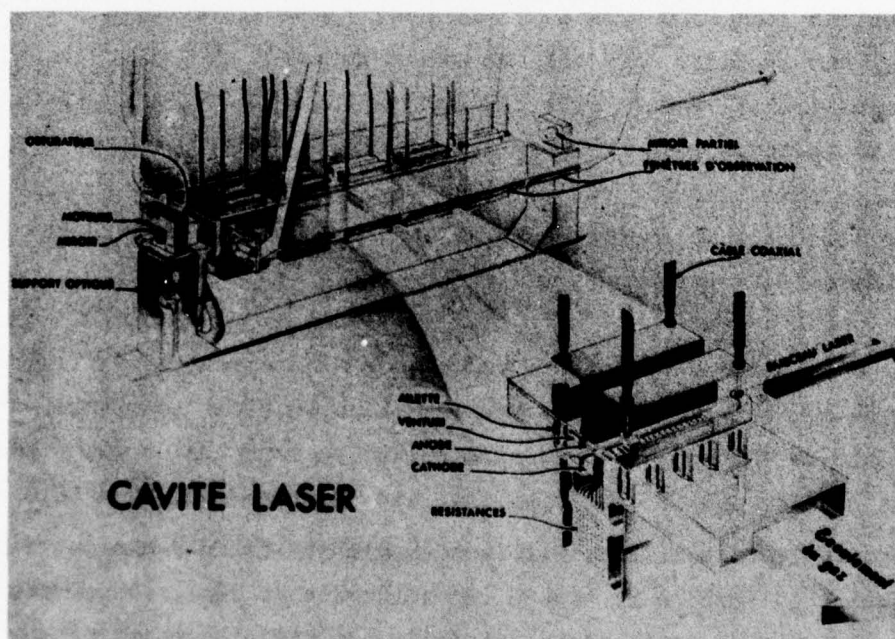


FIGURE 9 - Illustration d'une section typique de la cavité laser

L'extrémité haute tension du câble est reliée à une autre plaquette métallique d'où partent des tiges en laiton qui traversent la veine d'écoulement; dans cette dernière, un venturi, en aval de la région des décharges, accélère la vitesse des gaz. Ces tiges, encastrées dans des ailettes en époxy et profilées afin de perturber au minimum l'écoulement des gaz, aboutissent, dans la partie inférieure du boîtier, sur une plaque de métal qui assure la continuité électrique jusqu'aux résistances limitant le courant dans les décharges. Chacune des sections comprend 244 rangées de 5 résistances de $100\ \Omega$ montées en série, et refroidies par une circulation d'air forcé.

Finalement, la cathode complète cette unité modulaire. La figure 10 illustre une cathode s'intégrant dans une section. L'arrangement géométrique, selon des lignes génératrices interceptant l'axe optique de la cavité à un angle de 10° , répartit uniformément, dans les plans verticaux passant par les composantes optiques, les pointes et le flux électrique circulant dans la cavité. Une section comprend 244 pointes en tungstène encapsulées dans un moulage d'époxy recouvert d'une couche de plastique isolant. Les pointes ont un diamètre de 0.1 cm, excèdent la surface de 0.32 cm, et sont espacées de 0.7 cm. Des fils électriques et des connecteurs permettent de raccorder chacune des pointes aux rangées de résistances. Les 3 rainures longitudinales sur le côté de la cathode servent à maintenir celle-ci en place selon l'arrangement inter-électrode sélectionné.

Le système optique se compose de deux ensembles similaires installés aux extrémités de la cavité. L'un contient le miroir, l'autre, la fenêtre de sortie. Le miroir en cuivre recouvert d'un dépôt d'or est plat et possède une réflectivité initiale supérieure à 98% à $10.6\ \mu\text{m}$. Une circulation d'eau le refroidit et minimise les déformations d'origine thermique. La fenêtre de sortie, en séléniure de zinc, recouverte sur la face interne de revêtements partiellement réfléchissants et sur la face externe de dépôts anti-réfléchissants à $10.6\ \mu\text{m}$, est un ménisque convergent dont les rayons de courbure sont respectivement

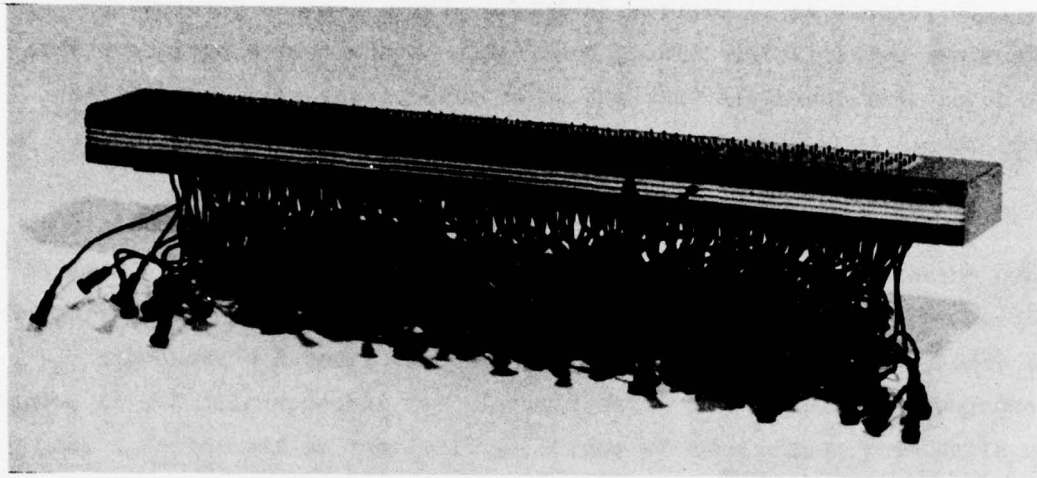


FIGURE 10- Cathode typique s'intégrant dans une section de la cavité

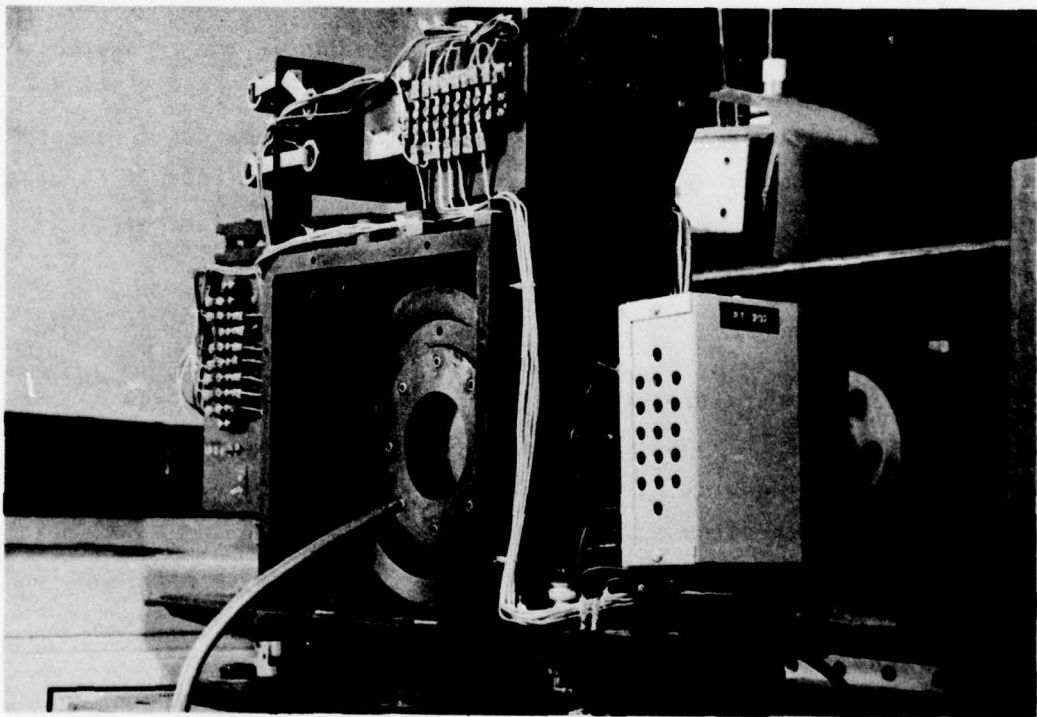



FIGURE 11- Dispositif opto-mécanique à la sortie de la cavité laser

$R_{\text{int.}} = 8 \text{ m}$ et $R_{\text{ext.}} = 5 \text{ m}$. Une circulation forcée de gaz froids sur la face interne de la fenêtre de sortie prévient toute déformation thermique appréciable. Ainsi, nous obtenons une cavité optique stable et quasi semi-confocale émettant un faisceau laser relativement bien collimaté.

La figure 11 illustre certaines composantes du dispositif opto-mécanique installé à la sortie de la cavité laser. Un raccord en téflon, une boîte contenant un obturateur mécanique et un joint flexible ou découpleur mécanique raccordent le boîtier laser à chacune des composantes optiques. Le joint flexible est indispensable car il permet un alignement statique de la cavité en éliminant la transmission des vibrations mécaniques de l'enceinte laser vers les composantes optiques.

Mécaniquement, l'optique est supportée par des systèmes à la Cardan dont les axes de rotation, passant par le centre de la face interne, sont orthogonaux et indépendants. Ces supports sont montés sur un ensemble de poutres en forme de  reposant sur le plancher du complexe. De plus, cet arrangement comprend un système de supports hydrauliques à déplacement vertical permettant de démonter rapidement la partie inférieure du boîtier laser et d'accéder aux électrodes ou aux autres parties internes.

4.0 CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT

Les principales caractéristiques de fonctionnement de ce laser CO_2 TEA haute cadence apparaissent dans le tableau III, tandis que la figure 12 illustre une décharge normale dans une partie de la cavité laser. Dans les sections suivantes, nous expliquerons plus en détail quelques-unes de ces caractéristiques et préciserons d'autres propriétés telles la puissance moyenne en fonction de la cadence, l'efficacité, l'installation ainsi que certaines limitations importantes.

NON CLASSIFIE
19

TABLEAU III

Caractéristiques de fonctionnement

Mélange de gaz et écoulement	Décharges électriques	Faisceau laser
<p>He > 80%</p> <p>3% < CO₂ < 10%</p> <p>5% < N₂ < 15%</p> <p>Plage de pression: 10-134 kPa</p> <p>Débit variable: 0-3000 l/s</p> <p>Vitesse (cavité): 0 - 35 m/s</p> <p>Temp. gaz: Entrée (cavité): 300 K Sortie (cavité): variable</p>	<p>Cadence variable: 0.1 - 1000 Hz</p> <p>Plage de tension: 0 - 35 kV</p> <p>Durée de décharge: $\approx 0.5 \mu s$ Tension crête: $\approx 50 kV$</p> <p>Courant crête: $\approx 10,000 A$</p> <p>Energie totale: $\approx 50 J/imp.$</p> <p>Energie dissipée (résistances): $\approx 5 J/imp.$</p>	<p>Dimensions (sortie): 2 x 3.5 cm</p> <p>Divergences: $2\theta_v$: 4.50 mrad $2\theta_H$: 7.50 mrad</p> <p>Energie totale: 1.5 - 3 J/imp.</p> <p>Durée de l'impulsion: 2-25 μs</p> <p>Crête à mi-hauteur: 0.15 - 1 μs</p> <p>Puissance moyenne: 0.3 W - 1.5 kW</p> <p>Puissance crête: 0.5 - 5 MW</p> <p>Longueur d'onde: 10.6 μm</p>

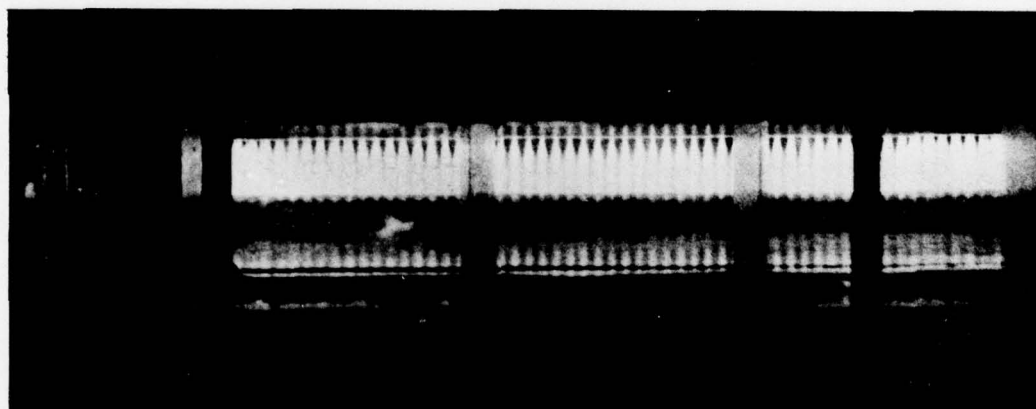


FIGURE 12- Photographie d'une décharge normale

4.1 Forme temporelle de l'impulsion laser

La figure 13 est un exemple typique de la distribution temporelle de l'impulsion laser obtenue à l'aide d'un détecteur ultra-rapide (type 'photon drag'). Cette distribution se compose d'une impulsion pointe de grande amplitude suivie d'une queue longue, d'amplitude beaucoup plus faible. Une étude détaillée de la physique des lasers moléculaires nous permet de distinguer deux mécanismes différents expliquant ce comportement. Le premier a trait à la désexcitation rapide des molécules de CO_2^* vers le niveau inférieur tandis que le second dépend du transfert $\text{N}_2^* \rightarrow \text{CO}_2$ beaucoup plus lent (réf. 2). On en déduit que la forme, la durée et l'amplitude de l'impulsion laser dépendent, entre autres, de la composition du mélange de gaz utilisé ainsi que des proportions ou quantités de chacun des constituants. L'impulsion présentée ici fut obtenue à partir d'un mélange 22.5:1.5:1 en He- CO_2 - N_2 à la pression atmosphérique. Son amplitude est contrôlée par le volume des gaz excités et par la réflectivité de la fenêtre de sortie de la cavité.

La durée totale de l'impulsion est d'environ 4 μs tandis que celle de l'impulsion pointe, à mi-amplitude, est de 0.25 μs . L'énergie totale contenue dans l'impulsion, mesurée à l'aide d'un joulemètre, est d'environ 2.5 J. Comme environ le tiers de cette énergie se trouve dans l'impulsion pointe, on évalue la puissance crête à 3 MW environ.

4.2 Distribution spatiale de l'énergie

L'empreinte laissée par le faisceau laser sur une émulsion polaroid a la forme d'un rectangle dont les dimensions, à la fenêtre de sortie de la cavité, sont environ 2 x 3.5 cm. D'après les dimensions de l'empreinte obtenue au foyer d'un miroir, on déduit que les demi-angles de divergence sont respectivement $\theta_H = 3.75 \text{ mrad}$ et $\theta_V = 2.25 \text{ mrad}$.

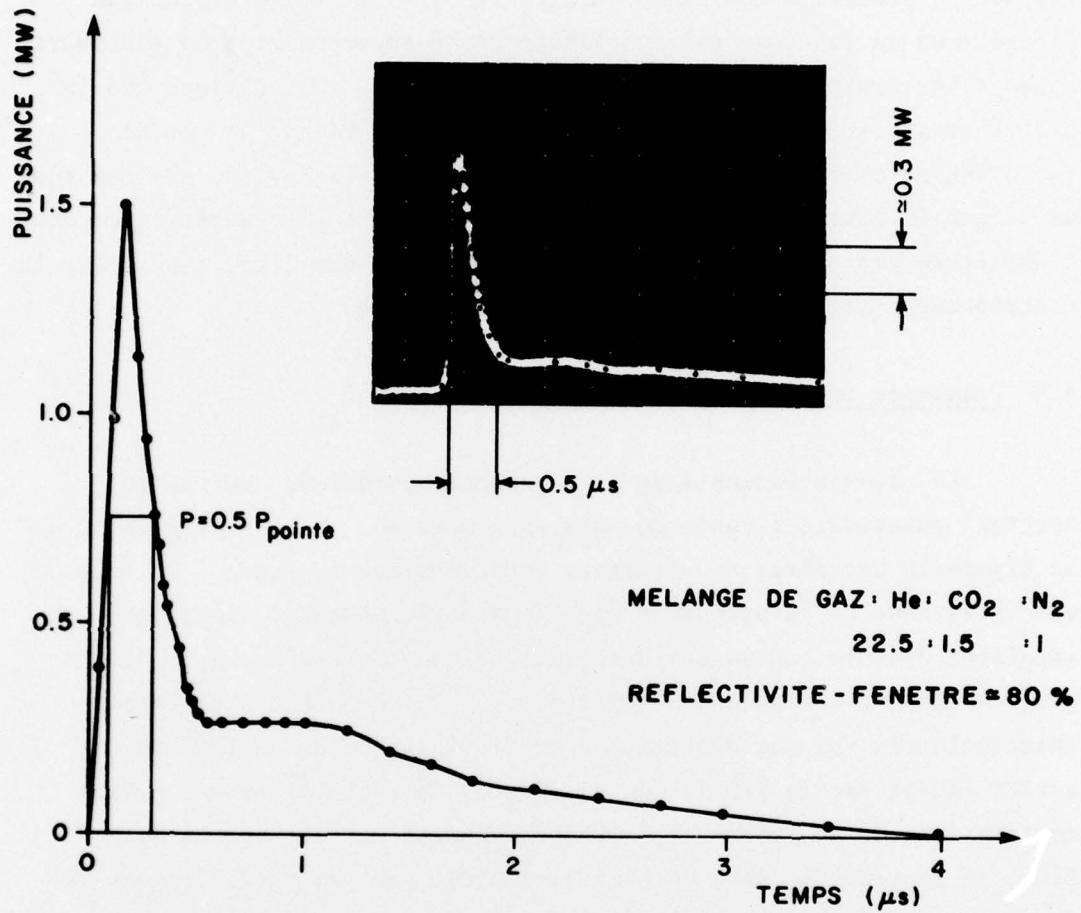


FIGURE 13- Forme temporelle d'une impulsion laser typique

La structure des modes de cette cavité résonante a fait l'objet d'une étude détaillée et la figure 14 donne un exemple des résultats obtenus. Ces données proviennent d'un balayage du faisceau par un wattmètre, précédé d'une fente étroite de 0.16 cm. La distribution énergétique du faisceau est constituée d'une superposition de plusieurs modes transversaux inhérents à la cavité optique. On constate que la distribution est relativement symétrique ce qui indique le peu de perturbation créée par l'écoulement des gaz dans la cavité. On remarque aussi que la distribution horizontale présente des pics symétriques dont l'amplitude est d'environ 25% supérieure à celle sur l'axe tandis que la distribution verticale est beaucoup plus uniforme.

4.3 Puissance moyenne en fonction de la cadence

La cadence variable de ce laser nous permet de couvrir un éventail relativement vaste de puissance moyenne. Nous reproduisons à la figure 15 une série de résultats expérimentaux typiques. On remarque une croissance de la puissance moyenne avec la cadence. L'énergie par impulsion demeure constante jusqu'aux environs de 400 Hz, puis diminue progressivement aux cadences supérieures. Ce phénomène s'explique principalement par une déformation thermoélastique de la fenêtre de sortie causée par la limitation du système de refroidissement. Dans certains cas où la fréquence de fonctionnement est élevée, la durée finie de la recombinaison des gaz dissociés, plus particulièrement le CO_2 , peut aussi contribuer à réduire la puissance en fonction de la cadence (réf. 5, 6 et 7). Cependant, étant donné la géométrie et les dimensions des pointes résistives de la cathode, il semble que l'effet couche limite n'intervient pas ici.

4.4 Efficacité

L'efficacité électrique de ce système laser est définie de la façon suivante:

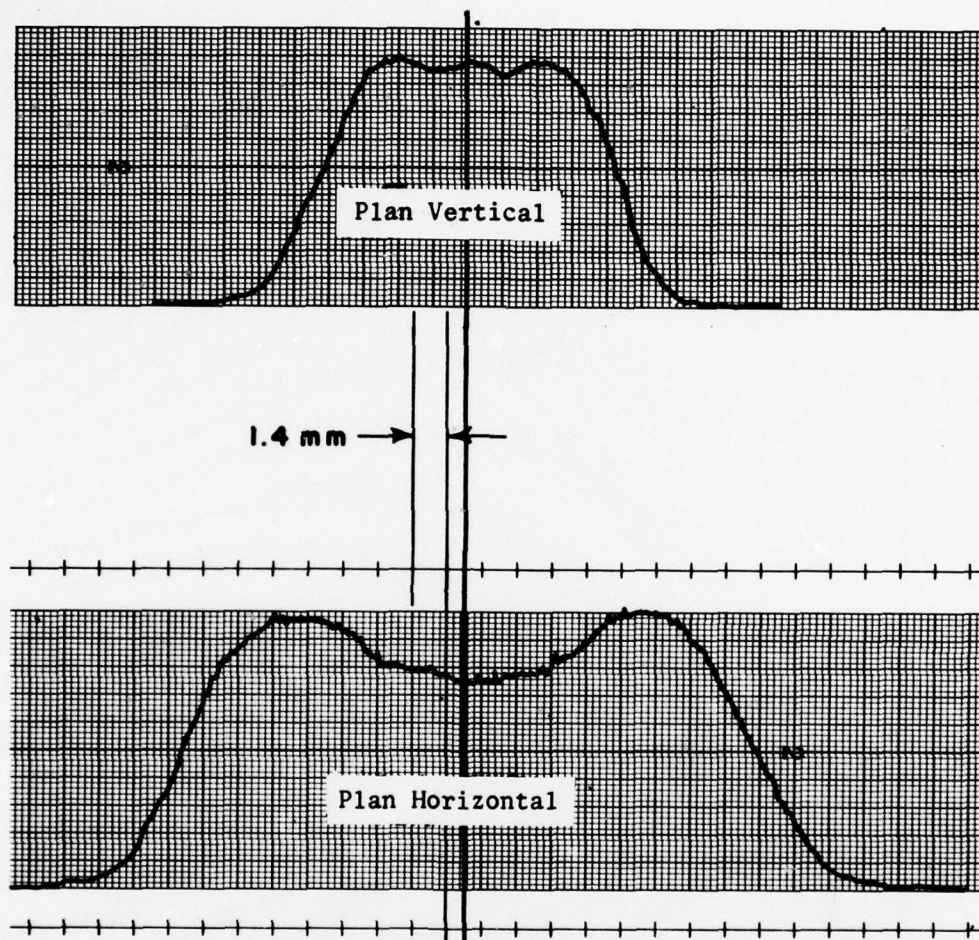


FIGURE 14 - Distribution spatiale de l'irradiance du faisceau laser.

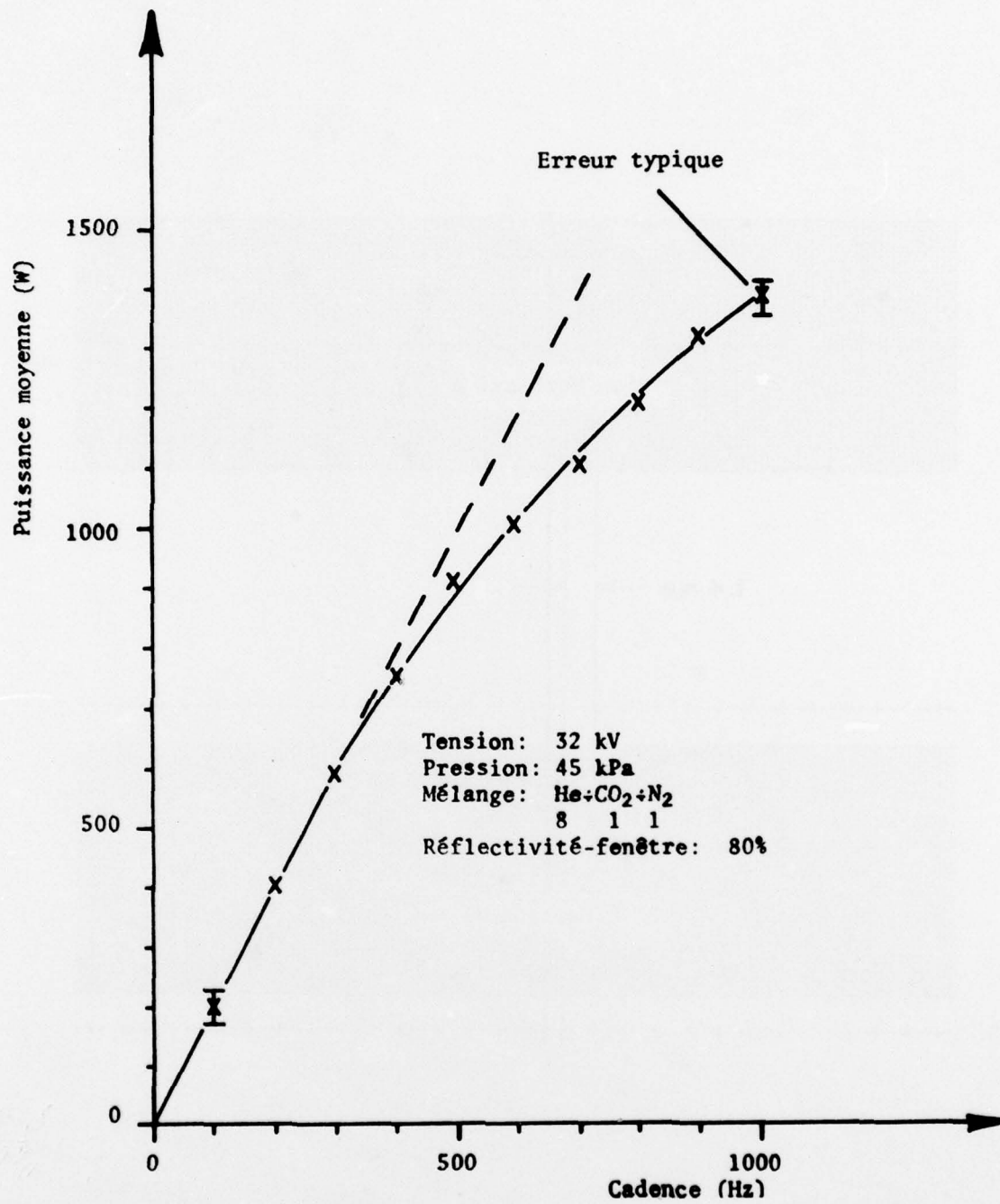


FIGURE 15- Puissance moyenne en fonction de la cadence

$$\eta_o = \frac{E_s}{E_e} = \frac{P_s}{P_e}$$

où E_s et P_s sont l'énergie et la puissance électromagnétique mesurées à la sortie du laser, tandis que E_e et P_e sont l'énergie et la puissance électrique mesurées à la sortie du bloc d'alimentation haute tension. Celle-ci se situe entre 3% et 6% suivant nos conditions de fonctionnement.

5.0 LIMITATIONS ET DISCUSSION

La détérioration des gaz, les déformations thermiques et la dégradation des composantes optiques sont les facteurs limitatifs du fonctionnement de ce complexe laser.

La décomposition du bioxyde de carbone et de l'azote par les décharges électriques a des répercussions à court et à long termes (réf. 8). Dans l'immédiat, elle diminue leur concentration respective et, de ce fait, réduit le gain de la cavité et l'intensité du faisceau laser émis. De plus, les constituants qui en résultent peuvent perturber sérieusement les impulsions successives si on ne les écarte pas de la cavité avant la décharge électrique ultérieure. Malheureusement, l'accumulation de ces composés dans les gaz en circulation entraîne une baisse progressive de la puissance du faisceau laser émis en fonction du temps (réf. 9). Il faut même arrêter le fonctionnement lorsqu'une certaine concentration est atteinte dans le milieu, car les décharges se transforment en arcs capables d'endommager les pointes de la cathode. On remédie à ces effets en utilisant un système d'injection de gaz frais et d'extraction de gaz usés pour régénérer le mélange, et en opérant dans des conditions qui éliminent le plus possible la dissociation du CO_2 et du N_2 . Des résultats intéressants ont été obtenus en travaillant à des pressions inférieures à la pression atmosphérique, bien qu'il ait fallu réduire au minimum le taux de fuites car l'introduction d'air dans l'unité est tout aussi néfaste à longue échéance. Par exemple, à une pression de 45 kPa

(He-CO₂-N₂:8:1:1) et à une cadence de 500 Hz, on maintient une puissance de 800 watts ($\pm 5\%$) pendant plus d'une heure (plus de 2×10^6 impulsions). Par contre, à une pression de 100 kPa et à une cadence de 800 Hz, on atteint quelque 2 kW pendant une dizaine de secondes.

La vitesse finie de l'écoulement des gaz impose aussi une limite supérieure d'environ 1 kHz à notre cadence opérationnelle. Une étude sommaire à des fréquences supérieures indique une transformation rapide des décharges en arcs accompagnée d'une baisse importante de la puissance moyenne.

Les déformations thermoélastiques des composantes optiques imposent aussi des restrictions de fonctionnement (réf. 10, 11, 12) puisqu'elles ont pour effet de désaccorder la cavité optique. La fenêtre de sortie étant plus sensible que le miroir aux distorsions optiques induites par l'énergie absorbée, constitue le point faible du dispositif opto-mécanique. L'utilisation d'un jet de gaz superficiel à une température de -20°C s'est avérée un moyen efficace de pallier ces phénomènes pour des cadences inférieures à 500 Hz. Toutefois, il semble qu'un système ayant un débit de gaz deux à trois fois supérieur à celui du présent dispositif soit nécessaire pour améliorer le rendement aux cadences élevées.

La fenêtre de sortie est aussi une composante optique relativement facile à endommager en raison de la fragilité du matériau qui la compose et des pellicules multicouches qui recouvrent ses faces. Bien que les dispositifs de refroidissement améliorent considérablement sa vie utile, elle devient toujours inutilisable dans un laps de temps plus ou moins long dépendant des conditions de fabrication de la pièce et de son milieu de fonctionnement. D'abord, les pellicules multicouches décollent des surfaces, puis, à température trop élevée, la fenêtre de sortie se fracture.

Nonobstant ces limitations qu'il faut bien accepter, ce complexe laser CO₂ TEA demeure un outil de travail unique, relativement fiable, de fonctionnement facile et très sécuritaire. Sa grande souplesse d'adaptation est aussi un atout important dans les études des interactions faisceau-cible.

6.0 REMERCIEMENTS

L'auteur exprime sa gratitude à M. J. Williams pour son empressement à lui fournir les informations techniques concernant les différents systèmes électromécaniques. De même, il apprécie particulièrement la collaboration technique que lui ont accordée M. R. Chouinard et M. R. Gosselin lors des expériences. Enfin, il remercie le Dr M. Gravel pour son encouragement et les précieux conseils prodigués lors de la rédaction de ce rapport.

7.0 REFERENCES

1. Beaulieu, A.J., Appl. Phys. Lett. Vol. 16, pp. 504, 1970.
2. Gilbert, J., Lachambre, J.-L., Rheault, F. and Fortin, R., "Dynamics of the CO₂ Atmospheric Pressure Laser with Transverse Pulse Excitation", Can. J. Phys., Vol. 50, pp. 2523, 1972.
3. Duley, W.W., "CO₂ Lasers Effects and Applications", Academic Press, New York, San Francisco, London, 1976.
4. Delisle, J.R., "DREV Laser Test Facility, Phase II Specification, Design Proposal of High Voltage, 150 kW Power Systems and Discharge Networks", DREV/M-2163/72, March 1972. UNCLASSIFIED
5. Hamilton, D.C., James, D.J. and Ramsden, J.A., "A Repetitively Pulsed Double Discharge TEA-CO₂ Laser", J. Physics E., Sci. Inst. Vol. 8, pp. 849-852, 1975.
6. Dzakowic, G.S. and Wutzke, S.A., "High-Pulse-Rate-Glow-Discharge Stabilization by Gas Flow", J. Appl. Phys., Vol. 44, pp. 5061-5063, 1973.
7. Pace, P., Lacombe, M., "A Compact High-Repetition-Rate TEA-CO₂ Laser", DREV R-4056/76, June 1976. UNCLASSIFIED

8. Bletzinger, P., et al., "Influence of Contaminants on the CO₂ Electric-Discharge Laser", IEEE J. Quan. Elec., Vol. QE-11, pp. 317-323, 1975.
9. Suart, R.D., Lévesque, R.J. and Snelling, D.R., "Causes of Power Degradation in a High-Repetition Rate TEA-CO₂ Laser", DREV R-709/74, March 1974. UNCLASSIFIED
10. Fuhs, A.E. and Fuhs, S.E., "Computer-Drawn Graphs Help Calculate Effects of Heating by Laser Radiation", Laser Focus, Vol. 12 (No. 6), pp. 66-73, June 1976.
11. Sparks, M., "Stress and Temperature Analysis for Surface Cooling or Heating of Laser Window Materials", J. Appl. Phys., Vol. 44, pp. 4137-4144, 1973.
12. Prokhorov, A.M. et al., "Thermal Action of High-Power Laser Radiation on the Surface of a Solid", Sov. J. Quant. Electron., Vol. 5, pp. 216-221, 1975.

CRDV R-4113/78 (NON CLASSIFIE)

Bureau - Recherche et Développement, MDN, Canada.
CRDV, C.P. 880, Courcellette, Qué. GOA 1R0

"Description d'une installation laser CO₂ TEA haute cadence"
par J.-P. Morency

Ce rapport décrit un système laser CO₂ TEA haute cadence qui fonctionne en boucle fermée et dont le faisceau a une puissance moyenne pouvant dépasser 1.5 kW à 1 kHz. Après un bref rappel des principes de conception appliqués dans cet important complexe, on donne d'abord des précisions sur les différents sous-systèmes qui servent à l'excitation électrique, à la circulation des gaz et au contrôle de la cavité optique. On décrit ensuite les caractéristiques opérationnelles et le comportement du faisceau multi-mode de radiation. Malgré certaines limitations qu'imposent la détérioration des gaz et les déformations thermiques subies par la fenêtre de sortie, ce laser demeure fiable et peut fonctionner de façon continue pendant des périodes de temps relativement longues. C'est aussi un outil souple muni de dispositifs qui le rendent sécuritaire à l'usage. (NC)

CRDV R-4113/78 (NON CLASSIFIE)

Bureau - Recherche et Développement, MDN, Canada.
CRDV, C.P. 880, Courcellette, Qué. GOA 1R0

"Description d'une installation laser CO₂ TEA haute cadence"
par J.-P. Morency

Ce rapport décrit un système laser CO₂ TEA haute cadence qui fonctionne en boucle fermée et dont le faisceau a une puissance moyenne pouvant dépasser 1.5 kW à 1 kHz. Après un bref rappel des principes de conception appliqués dans cet important complexe, on donne d'abord des précisions sur les différents sous-systèmes qui servent à l'excitation électrique, à la circulation des gaz et au contrôle de la cavité optique. On décrit ensuite les caractéristiques opérationnelles et le comportement du faisceau multi-mode de radiation. Malgré certaines limitations qu'imposent la détérioration des gaz et les déformations thermiques subies par la fenêtre de sortie, ce laser demeure fiable et peut fonctionner de façon continue pendant des périodes de temps relativement longues. C'est aussi un outil souple muni de dispositifs qui le rendent sécuritaire à l'usage. (NC)

CRDV R-4113/78 (NON CLASSIFIE)

Bureau - Recherche et Développement, MDN, Canada.
CRDV, C.P. 880, Courcellette, Qué. GOA 1R0

"Description d'une installation laser CO₂ TEA haute cadence"
par J.-P. Morency

Ce rapport décrit un système laser CO₂ TEA haute cadence qui fonctionne en boucle fermée et dont le faisceau a une puissance moyenne pouvant dépasser 1.5 kW à 1 kHz. Après un bref rappel des principes de conception appliqués dans cet important complexe, on donne d'abord des précisions sur les différents sous-systèmes qui servent à l'excitation électrique, à la circulation des gaz et au contrôle de la cavité optique. On décrit ensuite les caractéristiques opérationnelles et le comportement du faisceau multi-mode de radiation. Malgré certaines limitations qu'imposent la détérioration des gaz et les déformations thermiques subies par la fenêtre de sortie, ce laser demeure fiable et peut fonctionner de façon continue pendant des périodes de temps relativement longues. C'est aussi un outil souple muni de dispositifs qui le rendent sécuritaire à l'usage. (NC)

CRDV R-4113/78 (NON CLASSIFIE)

Bureau - Recherche et Développement, MDN, Canada.
CRDV, C.P. 880, Courcellette, Qué. GOA 1R0

"Description d'une installation laser CO₂ TEA haute cadence"
par J.-P. Morency

Ce rapport décrit un système laser CO₂ TEA haute cadence qui fonctionne en boucle fermée et dont le faisceau a une puissance moyenne pouvant dépasser 1.5 kW à 1 kHz. Après un bref rappel des principes de conception appliqués dans cet important complexe, on donne d'abord des précisions sur les différents sous-systèmes qui servent à l'excitation électrique, à la circulation des gaz et au contrôle de la cavité optique. On décrit ensuite les caractéristiques opérationnelles et le comportement du faisceau multi-mode de radiation. Malgré certaines limitations qu'imposent la détérioration des gaz et les déformations thermiques subies par la fenêtre de sortie, ce laser demeure fiable et peut fonctionner de façon continue pendant des périodes de temps relativement longues. C'est aussi un outil souple muni de dispositifs qui le rendent sécuritaire à l'usage. (NC)

DREV R-4113/78 (UNCLASSIFIED)

Research and Development Branch, DND, Canada.
DREV, P.O. Box 880, Courcellette, Que. GOA 1R0

"Description of a High-Repetition-Rate TEA-CO₂ Laser System"
by J.-P. Morency

This document describes a high-repetition-rate TEA-CO₂ laser system which operates in a closed loop and can produce an average output beam power in excess of 1.5 kW at 1 kHz. After a brief outline of the design concepts of this important installation, details are given of the various subsystems involved in the electrical excitation, circulation of gases and control of the optical cavity. Then follow operational characteristics and a description of the behavior of the multimodal beam of radiation. Despite some limitations due to deterioration of gases and thermally induced distortion of the output coupling window, this laser remains reliable and capable of operating continuously for relatively long periods of time. It is also a versatile tool, incorporating several features which make it safe to use. (U)

DREV R-4113/78 (UNCLASSIFIED)

Research and Development Branch, DND, Canada.
DREV, P.O. Box 880, Courcellette, Que. GOA 1R0

"Description of a High-Repetition-Rate TEA-CO₂ Laser System"
by J.-P. Morency

This document describes a high-repetition-rate TEA-CO₂ laser system which operates in a closed loop and can produce an average output beam power in excess of 1.5 kW at 1 kHz. After a brief outline of the design concepts of this important installation, details are given of the various subsystems involved in the electrical excitation, circulation of gases and control of the optical cavity. Then follow operational characteristics and a description of the behavior of the multimodal beam of radiation. Despite some limitations due to deterioration of gases and thermally induced distortion of the output coupling window, this laser remains reliable and capable of operating continuously for relatively long periods of time. It is also a versatile tool, incorporating several features which make it safe to use. (U)

DREV R-4113/78 (UNCLASSIFIED)

Research and Development Branch, DND, Canada.
DREV, P.O. Box 880, Courcellette, Que. GOA 1R0

"Description of a High-Repetition-Rate TEA-CO₂ Laser System"
by J.-P. Morency

This document describes a high-repetition-rate TEA-CO₂ laser system which operates in a closed loop and can produce an average output beam power in excess of 1.5 kW at 1 kHz. After a brief outline of the design concepts of this important installation, details are given of the various subsystems involved in the electrical excitation, circulation of gases and control of the optical cavity. Then follow operational characteristics and a description of the behavior of the multimodal beam of radiation. Despite some limitations due to deterioration of gases and thermally induced distortion of the output coupling window, this laser remains reliable and capable of operating continuously for relatively long periods of time. It is also a versatile tool, incorporating several features which make it safe to use. (U)

DREV R-4113/78 (UNCLASSIFIED)

Research and Development Branch, DND, Canada.
DREV, P.O. Box 880, Courcellette, Que. GOA 1R0

"Description of a High-Repetition-Rate TEA-CO₂ Laser System"
by J.-P. Morency

This document describes a high-repetition-rate TEA-CO₂ laser system which operates in a closed loop and can produce an average output beam power in excess of 1.5 kW at 1 kHz. After a brief outline of the design concepts of this important installation, details are given of the various subsystems involved in the electrical excitation, circulation of gases and control of the optical cavity. Then follow operational characteristics and a description of the behavior of the multimodal beam of radiation. Despite some limitations due to deterioration of gases and thermally induced distortion of the output coupling window, this laser remains reliable and capable of operating continuously for relatively long periods of time. It is also a versatile tool, incorporating several features which make it safe to use. (U)